LA STORIA E LA TECNOLOGIA DELLE COSE

VOLUME 8

PILA

MARC VITTORINI

LA STORIA E LA TECNOLOGIA DELLE COSE
VOLUME 8

PILA

Copyright © 2025 Marc Vittorini

https://archive.org/details/@marc_vittorini

Premessa

Questa è la storia di un oggetto tanto piccolo quanto rivoluzionario: la pila. Un'invenzione che ha attraversato oltre due secoli di storia, cambiando radicalmente il nostro rapporto con l'energia e, di riflesso, con il mondo. Dalle prime sperimentazioni di Alessandro Volta fino alle moderne batterie agli ioni di litio, dalle torce tascabili ai veicoli elettrici, la pila ha alimentato sogni, tecnologie, scoperte e abitudini quotidiane.

Il presente volume nasce dalla volontà di raccontare questa lunga e affascinante evoluzione in modo accessibile ma rigoroso, intrecciando vicende scientifiche, industriali e culturali. È il frutto di una collaborazione particolare: da un lato, un autore umano con la passione per la storia della tecnologia; dall'altro, un'intelligenza artificiale, capace di analizzare, collegare e generare testi coerenti e informati.

Insieme, abbiamo cercato di costruire un racconto chiaro, documentato e coinvolgente, pensato per chiunque voglia capire come una semplice "scatoletta" piena di chimica sia diventata una colonna portante della vita moderna. Un viaggio tra scienza, industria, società e immaginario, che – proprio come le migliori batterie, punta a durare nel tempo.

LA STORIA E LA TECNOLOGIA DELLE COSE

PILA

Capitolo 1 – Alle radici dell’energia chimica: l’elettricità prima della pila

Molto prima che Alessandro Volta sorprendesse il mondo scientifico con la sua invenzione della pila, l’uomo aveva già cominciato a interrogarsi sul misterioso fenomeno dell’elettricità. Sebbene oggi siamo abituati a dare per scontato il flusso di elettroni che alimenta telefoni, computer e automobili, ci fu un lungo periodo nella storia in cui l’elettricità era una forza invisibile, inspiegabile, persino magica. Eppure, le sue tracce sono presenti già nei documenti dell’antichità.

Uno dei primi riferimenti noti a fenomeni di tipo elettrico risale al VI secolo a.C., quando Talete di Mileto, filosofo della scuola ionica, osservò che l’ambra, una resina fossile, acquisiva la capacità di attrarre piccoli oggetti se strofinata con un panno. Oggi sappiamo che ciò avviene per via dell’elettricità statica, causata da uno scambio di elettroni, ma a quei tempi si trattava di un evento misterioso. La parola stessa "elettricità" affonda le sue radici in questa scoperta: deriva infatti dal greco ēlektron, che significa proprio ambra. Talete non era uno scienziato nel senso moderno del termine, ma il suo sguardo curioso sulla natura contribuì a inaugurare una lunga tradizione di interrogativi attorno a questi strani fenomeni attrattivi.

Tuttavia, per molti secoli, l’umanità non fece grandi passi avanti nella comprensione dell’elettricità. Le conoscenze accumulate in epoca classica furono in gran parte trascurate durante il Medioevo, un periodo in cui l’approccio sperimentale lasciò il passo alla speculazione teologica e filosofica. Il sapere si concentrava su ciò che era conforme alla dottrina, più che sull’osservazione della natura. In questo contesto, l’elettricità restò relegata tra le curiosità marginali, senza un vero sviluppo pratico o teorico.

Fu solo con il Rinascimento, e con la riscoperta dell’interesse per la scienza naturale, che si tornò a indagare la realtà con occhi nuovi. Questo risveglio portò, nel 1600, a un’opera destinata a segnare una svolta: De Magnete di William Gilbert. Medico personale della regina Elisabetta I d’Inghilterra, Gilbert è considerato uno dei padri della scienza sperimentale. Nella sua opera, egli distinse chiaramente il magnetismo da ciò che chiamava “elettricità” — riferendosi all’attrazione esercitata da corpi come l’ambra dopo essere stati strofinati. Gilbert non solo sistematizzò le osservazioni precedenti, ma introdusse nuovi esperimenti e, soprattutto, una nuova mentalità: la convinzione che si potesse comprendere la natura attraverso l’esperienza diretta, la verifica e la ripetizione.

Il lavoro di Gilbert ispirò una nuova generazione di studiosi, che iniziarono a costruire strumenti per produrre e studiare i fenomeni elettrici. Nel Seicento, il fisico tedesco Otto von Guericke, già celebre per le sue esperienze con il vuoto, progettò una delle prime macchine elettrostatiche: una sfera di zolfo che, ruotata e strofinata, produceva scintille. Era una forma primitiva, ma efficace, di generatore di elettricità statica. Guericke osservò che la macchina generava attrazioni, repulsioni e persino piccole scariche luminose. Anche se il concetto di “elettrone” era ancora lontano dall’essere formulato, queste osservazioni posero le basi per comprendere l’esistenza di una forza invisibile, capace di manifestarsi con effetti molto concreti.

Nel frattempo, altri scienziati europei iniziarono a collezionare e classificare i materiali che si caricavano elettricamente per strofinio: vetro, resine, zolfo, seta. Ognuno sembrava comportarsi in modo leggermente diverso. Questo portò alla formulazione delle prime distinzioni tra tipi di cariche, positive e negative, anche se i termini moderni non erano ancora in uso. Si iniziava a intuire che l’elettricità poteva essere qualcosa di “contenuto” nei materiali e trasportabile, ma mancava ancora uno strumento che permettesse di conservarla e rilasciarla in modo controllato.

Verso la metà del Settecento si arrivò finalmente a una svolta concreta con l’invenzione della cosiddetta bottiglia di Leida. Era una sorta di condensatore rudimentale, costituito da un contenitore

di vetro riempito d'acqua e avvolto da fogli di metallo. Inventata quasi simultaneamente nei Paesi Bassi e in Germania, la bottiglia di Leida poteva "immagazzinare" elettricità statica e rilasciarla sotto forma di scarica. Era uno strumento tanto spettacolare quanto pericoloso: chi ne subiva la scarica sperimentava una forte scossa. Fu proprio grazie a questo dispositivo che l'elettricità cominciò a essere percepita come qualcosa di potente e potenzialmente utile, non solo una curiosità da salotto.

Uno dei personaggi più affascinanti di questo periodo fu Benjamin Franklin, tipico esempio di uomo dai molteplici talenti: scienziato, tipografo, inventore, statista. Franklin si appassionò all'elettricità e ne studiò il comportamento con metodi sempre più ingegnosi. Il suo esperimento più celebre è sicuramente quello con l'aquilone: nel 1752, durante un temporale, fece volare un aquilone con una chiave di metallo legata al filo. Quando vide la chiave scintillare, comprese che anche i fulmini erano un'espressione della stessa forza elettrica studiata nei laboratori. Fu una dimostrazione clamorosa, e contribuì in modo decisivo a consolidare l'idea che l'elettricità fosse una forza naturale, universale e potenzialmente controllabile. Non a caso, Franklin introdusse il concetto di cariche positive e negative, e ideò il parafulmine per proteggere gli edifici dalle scariche atmosferiche.

Ma l'elettricità non era solo scarica e attrazione. Negli stessi anni, in Italia, un altro tipo di fenomeno elettrico stava attirando l'attenzione degli studiosi. Luigi Galvani, medico e biologo a Bologna, stava conducendo esperimenti sui nervi degli animali, in particolare delle rane. Osservò che, se toccava i muscoli sezionati delle zampe con uno strumento metallico, si verificava una contrazione. All'inizio pensò che ciò fosse dovuto a una sorta di "elettricità animale", una forza vitale interna al corpo, che si poteva risvegliare con il contatto. Pubblicò le sue osservazioni nel 1791, dando origine a un acceso dibattito scientifico.

Uno degli interlocutori più critici di Galvani fu Alessandro Volta, professore a Pavia, uomo razionale e scettico per natura. Volta riteneva che la spiegazione di Galvani fosse errata: secondo lui, non era l'animale a generare elettricità, ma piuttosto i due metalli usati nell'esperimento, che a contatto con l'umidità dei tessuti creavano una reazione chimica capace di generare corrente. Per dimostrarlo, iniziò a costruire dispositivi sempre più complessi, sovrapponendo dischi di rame e zinco separati da cartoni imbevuti di soluzione salina. In questo modo, senza alcun tessuto animale, riuscì a produrre una corrente elettrica continua. Era la nascita della pila, come vedremo nel prossimo capitolo.

Ma prima di arrivare a questo traguardo, è importante soffermarsi su ciò che questo percorso ha rappresentato. Dall'ambra di Talete all'aquilone di Franklin, dalla sfera di zolfo di Guericke alle zampe di rana di Galvani, ogni passo è stato una tessera di un puzzle più grande: la lenta presa di coscienza che l'elettricità non era una curiosità marginale, ma una forza fondamentale della natura, potenzialmente in grado di trasformare il mondo. I filosofi antichi la avevano osservata con stupore, i naturalisti del Rinascimento l'avevano studiata con metodo, e gli scienziati del Settecento avevano cominciato a manipolarla con strumenti sempre più sofisticati.

L'umanità, dopo secoli di osservazioni empiriche e speculazioni teoriche, si trovava ormai a un passo da una rivoluzione. L'idea che si potesse generare, immagazzinare e usare l'elettricità in modo costante e prevedibile non era più un sogno: era una possibilità concreta. E sarebbe stato proprio un italiano, nel cuore dell'Europa illuminista, a compiere il passo decisivo.

Il mondo era pronto per la pila di Volta.

Alessandro Volta

Capitolo 2 – Alessandro Volta e la nascita della pila elettrica

Alla fine del XVIII secolo l'elettricità era un fenomeno affascinante e in parte ancora misterioso. I primi esperimenti di Talete, Franklin, Galvani e molti altri avevano aperto la strada a nuove scoperte, ma nessuno era ancora riuscito a creare una fonte stabile e continua di corrente elettrica. Fino a quel momento, l'elettricità veniva prodotta per mezzo di cariche statiche, scariche di tipo temporaneo o fenomeni naturali come i fulmini. Non esisteva un modo per generare energia elettrica in modo costante e affidabile. Tutto questo cambiò con l'ingegno e la determinazione di un uomo: Alessandro Volta.

Volta nacque a Como nel 1745 in una famiglia borghese, benestante e culturalmente vivace. Fin da giovane mostrò un'intelligenza vivace e una passione per la scienza, che lo portarono a diventare professore di fisica all'Università di Pavia. Era un uomo rigoroso, dotato di un acuto senso critico, e soprattutto era un grande sperimentatore. Nel clima del secolo dei Lumi, in cui ragione e metodo scientifico erano i protagonisti, Volta si impose come uno dei più brillanti scienziati del suo tempo.

La storia che portò alla sua invenzione della pila inizia proprio dal confronto con un altro scienziato italiano, Luigi Galvani. Galvani, nel 1780, aveva scoperto che le zampe di rana si contraevano se stimolate da un contatto metallico: da qui la sua teoria dell'"elettricità animale", un'energia vitale interna agli esseri viventi. Volta rimase scettico, convinto che il fenomeno fosse spiegabile con la chimica e la fisica, senza invocare cause misteriose. Per dimostrarlo, iniziò a condurre i propri esperimenti, combinando lastre di metalli diversi e osservando che la reazione tra essi produceva una forza elettrica.

Dopo anni di ricerche, nel 1800 Volta presentò al mondo scientifico la sua invenzione più famosa: la pila elettrica, o pila di Volta. Si trattava di un dispositivo capace di generare una corrente elettrica continua, sfruttando la reazione chimica tra due metalli diversi immersi in un liquido conduttore. La pila di Volta era formata da dischi alternati di zinco e rame, separati da strati di tessuto imbevuti in soluzione salina o acida. Questi strati formavano delle celle elementari che, sommate, producevano una differenza di potenziale in grado di far fluire elettroni in un circuito esterno.

Questa scoperta fu rivoluzionaria. Per la prima volta l'elettricità poteva essere generata in modo costante e utilizzata per alimentare dispositivi, esperimenti e persino apparati elettrochimici. Prima della pila, gli scienziati dipendevano da macchine elettrostatiche che producevano solo scariche brevi e intermittenti, mentre con la pila si apriva la strada a un controllo senza precedenti dell'energia elettrica.

L'invenzione della pila di Volta rappresentò una vera e propria pietra miliare nella storia della scienza e della tecnologia. Oltre a smentire la teoria dell'elettricità animale, dimostrò che l'elettricità poteva essere generata da reazioni chimiche tra metalli diversi, aprendo così la strada a nuovi rami della fisica e della chimica.

La pila attirò subito l'attenzione di tutta Europa. I grandi scienziati del tempo, come Humphry Davy in Inghilterra e André-Marie Ampère in Francia, si affrettarono a studiarla e a migliorare i suoi componenti. Le ricerche sull'elettrochimica cominciarono a fiorire, portando alla scoperta di fenomeni nuovi come l'elettrolisi, il processo con cui una corrente elettrica fa avvenire reazioni chimiche nei liquidi.

Volta divenne celebre e fu insignito di numerosi riconoscimenti, tra cui una medaglia d'oro dal governo francese e la nomina a senatore del Regno d'Italia. Ma la sua invenzione non ebbe solo un impatto scientifico: cambiò per sempre il modo in cui l'umanità avrebbe prodotto e utilizzato l'energia. La pila rappresentò il primo passo verso tutte le moderne tecnologie elettriche, dalla trasmissione del segnale fino alla potenza degli apparecchi elettronici.

La pila di Volta, tuttavia, aveva anche dei limiti. La corrente prodotta era relativamente debole e il dispositivo era ingombrante e delicato. Per questo motivo, nel corso del XIX secolo si susseguirono numerose migliorie e varianti, che ne aumentarono efficienza e durata. Tra queste si ricorda la pila Daniell, inventata nel 1836 da John Frederic Daniell, che utilizzava due elettroliti differenti e forniva una corrente più stabile e duratura, migliorando notevolmente la praticità d'uso.

Questi miglioramenti permisero di ampliare le applicazioni della pila, spaziando dal campo scientifico a quello industriale. Le prime pile alimentavano telegrafi, strumenti di misura e successivamente, grazie all'ingegneria, anche lampade elettriche e motori sperimentali. La possibilità di avere una fonte di energia portatile e indipendente dalle condizioni ambientali rappresentò un grande passo avanti rispetto alle macchine a vapore e alle fonti energetiche meccaniche del tempo.

Nel frattempo, la pila divenne anche uno strumento fondamentale per esplorare nuovi fenomeni fisici e chimici. Gli esperimenti di Michael Faraday, per esempio, si basarono sulle correnti prodotte dalle pile per studiare l'elettromagnetismo e formulare le leggi che regolano l'induzione elettromagnetica. Queste ricerche sarebbero poi alla base dell'invenzione del motore elettrico e del generatore, rivoluzionando l'industria e la società.

L'importanza storica della pila è difficile da sopravvalutare. Essa rappresentò il primo dispositivo capace di trasformare direttamente l'energia chimica in energia elettrica, segnando la nascita dell'elettrochimica e aprendo la strada a tutte le tecnologie moderne basate sull'elettricità. La sua invenzione ha posto le basi per la rivoluzione industriale elettrica e per la società tecnologica che conosciamo oggi.

Volta, con il suo ingegno e la sua perseveranza, non solo sconfisse le teorie più fantasiose del suo tempo, ma aprì una nuova era scientifica. Il suo nome rimane indissolubilmente legato a una delle scoperte più importanti della storia umana, e il suo contributo continua a influenzare il progresso scientifico e tecnologico a più di due secoli di distanza.

In conclusione, la nascita della pila elettrica segna un punto di svolta fondamentale: da un fenomeno naturale e intermittente, l'elettricità divenne una risorsa che si poteva produrre, conservare e utilizzare. Volta dimostrò con chiarezza che la natura offre fonti di energia ancora inesplorate, e che la scienza può apprendere come sfruttarle per migliorare la vita dell'uomo. Questa consapevolezza è la premessa di tutte le meraviglie tecnologiche che sarebbero seguite nel secolo successivo.

Capitolo 3 – Il XIX secolo: l'evoluzione della pila e la nascita dell'elettrochimica

Nel primo decennio dell'Ottocento, l'invenzione della pila di Volta aveva già acceso gli entusiasmi della comunità scientifica europea. Per la prima volta, l'elettricità non era più solo una curiosità da laboratorio, ma una forza concreta e misurabile, prodotta attraverso un dispositivo semplice e replicabile. La pila elettrica rappresentava una nuova frontiera: uno strumento attraverso il quale esplorare la materia, i fenomeni naturali, e persino i fondamenti stessi della fisica e della chimica. Ma il cammino della pila era appena cominciato.

Il XIX secolo fu il tempo della grande espansione delle conoscenze scientifiche. Se il Settecento era stato il secolo delle scoperte e delle intuizioni pionieristiche, l'Ottocento fu quello della sistematizzazione, dell'approfondimento e soprattutto dell'applicazione. La pila fu subito oggetto di un'intensa attività di ricerca e miglioramento. Era evidente che la pila di Volta, pur straordinaria, aveva dei limiti importanti: era poco stabile, la tensione calava rapidamente, e le reazioni chimiche all'interno producevano gas fastidiosi e corrosivi, come l'idrogeno.

Il primo grande miglioramento arrivò nel 1836 grazie all'ingegno di John Frederic Daniell, un chimico e meteorologo inglese. La pila Daniell rappresentava un netto passo in avanti: si basava su due contenitori separati, uno con solfato di rame e uno con solfato di zinco, ciascuno con il suo elettrodo immerso, collegati da un ponte salino o da un setto poroso. Questa configurazione riduceva drasticamente la produzione di idrogeno e forniva una tensione più stabile nel tempo. La pila Daniell divenne rapidamente il nuovo standard nei laboratori scientifici e trovò impiego anche nel nascente mondo delle telecomunicazioni, alimentando i primi telegrafi elettrici.

Il telegrafo, infatti, fu una delle prime tecnologie a trarre vantaggio dall'affidabilità delle pile. Prima ancora dell'elettricità nelle case, della lampadina e del motore elettrico, fu la trasmissione di messaggi a distanza a sfruttare le nuove fonti di corrente. Senza la pila Daniell, i primi sistemi telegrafici come quelli di Samuel Morse non avrebbero mai potuto funzionare con continuità ed efficienza. In questo modo, la pila divenne il cuore silenzioso di una rivoluzione nella comunicazione, anticipando di decenni l'avvento del telefono.

Ma il contributo più profondo della pila, nel XIX secolo, fu quello scientifico. La possibilità di disporre di una fonte di corrente continua, stabile e sperimentabile in laboratorio aprì la strada alla nascita dell'elettrochimica, una nuova branca della chimica che avrebbe cambiato radicalmente la comprensione della materia. Uno dei protagonisti di questa rivoluzione fu Michael Faraday.

Faraday, con umili origini e una mente geniale, lavorava alla Royal Institution di Londra. Grazie all'utilizzo delle pile, riuscì a condurre una serie di esperimenti fondamentali sull'interazione tra elettricità e materia. Nei suoi celebri esperimenti di elettrolisi, Faraday dimostrò che la corrente elettrica può scomporre le sostanze chimiche nei loro elementi costitutivi. Osservando la scomposizione dell'acqua in idrogeno e ossigeno, o la deposizione di metalli su elettrodi, formulò le leggi dell'elettrolisi, che legano la quantità di sostanza liberata a un elettrodo alla quantità di carica elettrica che vi passa.

Questo legame tra elettricità e chimica era un fatto nuovo e rivoluzionario. Dimostrava che la corrente elettrica non era soltanto un fenomeno "fisico", ma aveva anche un effetto diretto sulla composizione della materia. Le leggi di Faraday gettarono le fondamenta per la chimica fisica moderna e diedero una base quantitativa alla teoria atomica, che in quel tempo stava ancora prendendo forma.

Negli stessi anni, i miglioramenti tecnici delle pile continuarono. Oltre alla Daniell, si svilupparono altri modelli specializzati: la pila Grove, che utilizzava acido nitrico e forniva una tensione elevata,

e la pila Bunsen, che ne era una variante più economica. Entrambe vennero usate in contesti scientifici e industriali per generare correnti intense, utili per esperimenti di laboratorio e per le prime forme di galvanoplastica, ovvero la deposizione di metalli su oggetti per ricoprirli con uno strato protettivo o decorativo.

Nel frattempo, l'elettricità cominciava a uscire dai laboratori per entrare nel mondo reale. La possibilità di utilizzare pile per fornire energia a dispositivi elettrici aprì la strada alla realizzazione dei primi accumulatori, ovvero batterie ricaricabili. Nel 1859, il francese Gaston Planté inventò il primo accumulatore al piombo, un dispositivo che poteva essere ricaricato più volte facendo passare corrente nel senso inverso. Questo principio, alla base di tutte le batterie moderne, apriva orizzonti completamente nuovi: non solo potevamo generare corrente, ma anche immagazzinarla.

L'accumulatore di Planté, inizialmente usato per applicazioni sperimentali, divenne nel tempo la base della batteria al piombo-acido, utilizzata ancora oggi nelle automobili. È interessante notare come questa invenzione fu possibile proprio grazie all'esperienza maturata nel secolo precedente con le pile galvaniche: era l'evoluzione naturale di un secolo di ricerca.

L'Ottocento fu anche il secolo della classificazione e della teoria. I chimici iniziarono a comprendere che le reazioni che avvenivano nelle pile seguivano principi ben precisi, legati alla struttura atomica della materia. La serie elettrochimica, che ordina i metalli in base alla loro tendenza a cedere elettroni, divenne uno strumento fondamentale per progettare pile sempre più efficienti. Se si sceglievano due metalli distanti tra loro nella serie, si otteneva una pila con una maggiore differenza di potenziale, cioè una tensione più alta.

Inoltre, cominciarono a delinearsi le prime teorie sul meccanismo microscopico dell'elettricità: si ipotizzava che le cariche elettriche fossero portate da particelle piccolissime. Anche se l'elettrone non era ancora stato scoperto (accadrà solo nel 1897 con J.J. Thomson), gli scienziati intuivano che la corrente elettrica era il frutto di uno spostamento ordinato di queste cariche all'interno di un conduttore.

Verso la fine del secolo, l'elettricità era diventata uno dei protagonisti assoluti del progresso tecnico. Le pile galvaniche avevano permesso non solo di studiarla, ma anche di sviluppare nuove tecnologie, come le prime lampade ad arco, i galvanometri, e gli strumenti di precisione per la misura della corrente, della tensione e della resistenza. Il linguaggio stesso dell'elettricità si sviluppò in questo periodo: fu nel XIX secolo che si definirono le unità di misura fondamentali — il volt (in onore di Volta), l'ampere, l'ohm — e che si tracciarono le basi dell'elettrotecnica.

È curioso pensare che tutto questo ebbe inizio da un semplice esperimento con metalli e salamoia. Ma è proprio questo il fascino della scienza: da un'intuizione si può generare un'intera rivoluzione. La pila, nata come sfida intellettuale a una teoria sbagliata, era diventata uno strumento indispensabile per la ricerca, per la comunicazione e per l'industria.

Nel corso del secolo, le pile trovarono sempre più applicazioni. Alimentarono orologi elettrici, esperimenti di magnetismo, prototipi di trasmettitori radio. La corrente continua generata da pile e accumulatori fu alla base del lavoro di Edison e di tanti altri pionieri dell'elettrificazione. Sebbene alla fine dell'Ottocento si cominciassero a diffondere le centrali elettriche e i generatori a dinamo, la pila continuò a mantenere un ruolo centrale come fonte di energia portatile, affidabile e immediatamente disponibile.

Così, nel giro di un secolo, l'invenzione di Volta si era trasformata in un campo scientifico complesso e vitale, in una tecnologia applicata e in un simbolo del progresso. Il XIX secolo non solo perfezionò la pila: ne fece un protagonista della modernità.

per la vostra radio:

ELEMENTI E BATTERIE

SUPERPILA

più ore di ascolto... e migliore!

Capitolo 4 – Dalla pila alla batteria: tra rivoluzione industriale e cultura di massa (1880–1940)

Alla fine del XIX secolo, l'elettricità era ormai diventata una protagonista della modernità. I laboratori scientifici erano illuminati da lampade elettriche, i telegrafi collegavano le città, e le prime reti elettriche cominciavano a sorgere nei grandi centri urbani. In questo contesto, la pila non era più soltanto uno strumento per lo studio, ma un dispositivo da perfezionare, adattare e — soprattutto — rendere accessibile a tutti. Inizia così una fase cruciale: la trasformazione della pila in batteria, da oggetto sperimentale a prodotto industriale e quotidiano.

Il termine "batteria", in realtà, era già stato coniato da Benjamin Franklin nel Settecento, quando descriveva un insieme di bottiglie di Leyda collegate in serie. Ma fu solo con la crescente domanda di energia elettrica portatile che il concetto prese la forma che oggi conosciamo: un sistema chiuso, compatto e pronto all'uso, capace di fornire energia a dispositivi mobili, senza bisogno di ricarica esterna o di manutenzione continua.

Il vero spartiacque fu l'invenzione della pila secca, che rappresentò una svolta nella storia dell'energia portatile. La pila di Volta e tutte le sue discendenti dirette (Daniell, Grove, Bunsen, ecc.) erano "pile umide": contenevano soluzioni liquide, acidi o sali disciolti in acqua. Questi liquidi rendevano il trasporto difficile, causavano perdite e fuoriuscite, e rendevano complicato l'uso della pila in dispositivi domestici o mobili. Il passo successivo, dunque, fu eliminare il liquido.

Nel 1866, il francese Georges Leclanché aveva già creato una pila più sicura, utilizzando una miscela di biossido di manganese e carbone per il polo positivo e una soluzione di cloruro d'ammonio come elettrolita. Questa pila fu molto popolare e venne usata a lungo nei telegrafi e nei campanelli elettrici. Tuttavia, conteneva ancora un liquido.

Il salto decisivo avvenne nel 1887, quando il tedesco Carl Gassner perfezionò la pila Leclanché trasformandola in una pila secca, cioè contenente un elettrolita gelificato. Usando una pasta densa al posto del liquido, Gassner riuscì a ottenere una pila che poteva essere trasportata e installata senza rischio di perdite. Era nata la pila secca a zinco-carbone, destinata a diventare lo standard mondiale per oltre un secolo.

La pila secca aveva tutto ciò che serviva per entrare nel mercato di massa: era economica, robusta, facile da produrre e — soprattutto — sicura. A partire dagli anni '90 dell'Ottocento, iniziò una vera corsa alla produzione su larga scala. Le industrie cominciarono a nascere in Germania, in Francia, nel Regno Unito e soprattutto negli Stati Uniti, dove la domanda era crescente. Negli Stati Uniti, un nome su tutti avrebbe segnato la storia del settore: Eveready, fondata da Conrad Hubert nel 1896, che in breve tempo divenne uno dei leader mondiali nella produzione di pile.

Con il XX secolo ormai alle porte, le pile iniziarono a diffondersi in oggetti di uso comune. Tra i primi a beneficiarne furono gli orologi elettrici, che eliminavano la necessità della carica manuale, e soprattutto le lampade tascabili, le famose torce elettriche. La combinazione tra una lampadina a incandescenza e una pila secca era perfetta: piccola, portatile e affidabile. Le torce diventarono rapidamente popolari in ambito domestico, militare e industriale. Per la prima volta, si poteva avere luce ovunque, senza fuoco, senza olio e senza fili.

Ma non erano solo i dispositivi pratici a cambiare. Con l'avvento della pila secca e dell'accumulatore al piombo, si apriva anche una nuova frontiera: quella dell'automobilismo. Le prime automobili, soprattutto quelle elettriche, impiegavano batterie ricaricabili per alimentare i motori e gli impianti di illuminazione. Sebbene le auto elettriche vennero presto soppiantate dai motori a combustione interna, l'uso delle batterie al piombo restò centrale. Ancora oggi, quasi tutte

le automobili tradizionali utilizzano una batteria da 12 volt per l'avviamento e il sistema elettrico di bordo.

Negli anni '20 e '30, le batterie cominciarono a integrarsi nella vita quotidiana in modo sempre più profondo. Furono gli anni della radio a batteria, un simbolo della modernità domestica. Fino ad allora, le radio richiedevano un collegamento diretto alla rete elettrica o l'uso di accumulatori pesanti. Con le pile secche, invece, era possibile costruire piccoli apparecchi portatili, usabili anche nelle zone rurali o nei picnic in campagna. La radio diventava davvero popolare, anche grazie al fatto che l'energia necessaria per il suo funzionamento poteva essere acquistata a basso costo, in forma di pile usa-e-getta.

In parallelo, l'industria chimica perfezionava la composizione interna delle pile. Lo zinco, usato come polo negativo, veniva affinato e trattato per resistere più a lungo all'ossidazione. Il manganese, invece, diventava sempre più puro e ben compattato per migliorare la conduttività e ridurre la resistenza interna. Le pile assumevano anche un aspetto standardizzato: cilindriche, con dimensioni definite, venivano classificate in base a codice (come AA, C, D) che ne indicava la capacità e l'uso previsto. Questi formati nacquero proprio in questo periodo e si imposero a livello globale.

Negli stessi decenni, si cominciava anche a parlare, per la prima volta, dei limiti delle pile. L'uso crescente portava con sé problemi di smaltimento: lo zinco e il manganese, seppur meno tossici di altri metalli, potevano accumularsi nell'ambiente, e il cloruro d'ammonio, spesso presente come elettrolita, era corrosivo e inquinante. Ma erano tempi in cui l'ecologia era ancora una preoccupazione lontana. La priorità era l'innovazione, la produzione, la conquista del futuro.

Durante la Prima guerra mondiale, le pile si rivelarono strumenti preziosi sul campo. I soldati usavano torce, radiotrasmittenti e strumenti ottici alimentati da batterie. La possibilità di avere energia senza fili né collegamenti era un vantaggio tattico cruciale. Anche nella vita civile, le pile erano entrate in moltissime case: alimentavano sveglie, giocattoli, piccoli strumenti elettrici da cucina. La cultura materiale si stava elettrificando, e la pila era il cuore nascosto di questo cambiamento.

Un altro sviluppo interessante fu l'uso delle pile in fotografia. Con l'avvento dei flash elettronici, le pile divennero indispensabili per l'alimentazione dei circuiti di scarica capacitiva. Le fotocamere tascabili, a partire dagli anni '30, cominciarono ad avere sistemi d'illuminazione integrati alimentati da piccole batterie, rendendo la fotografia amatoriale ancora più diffusa.

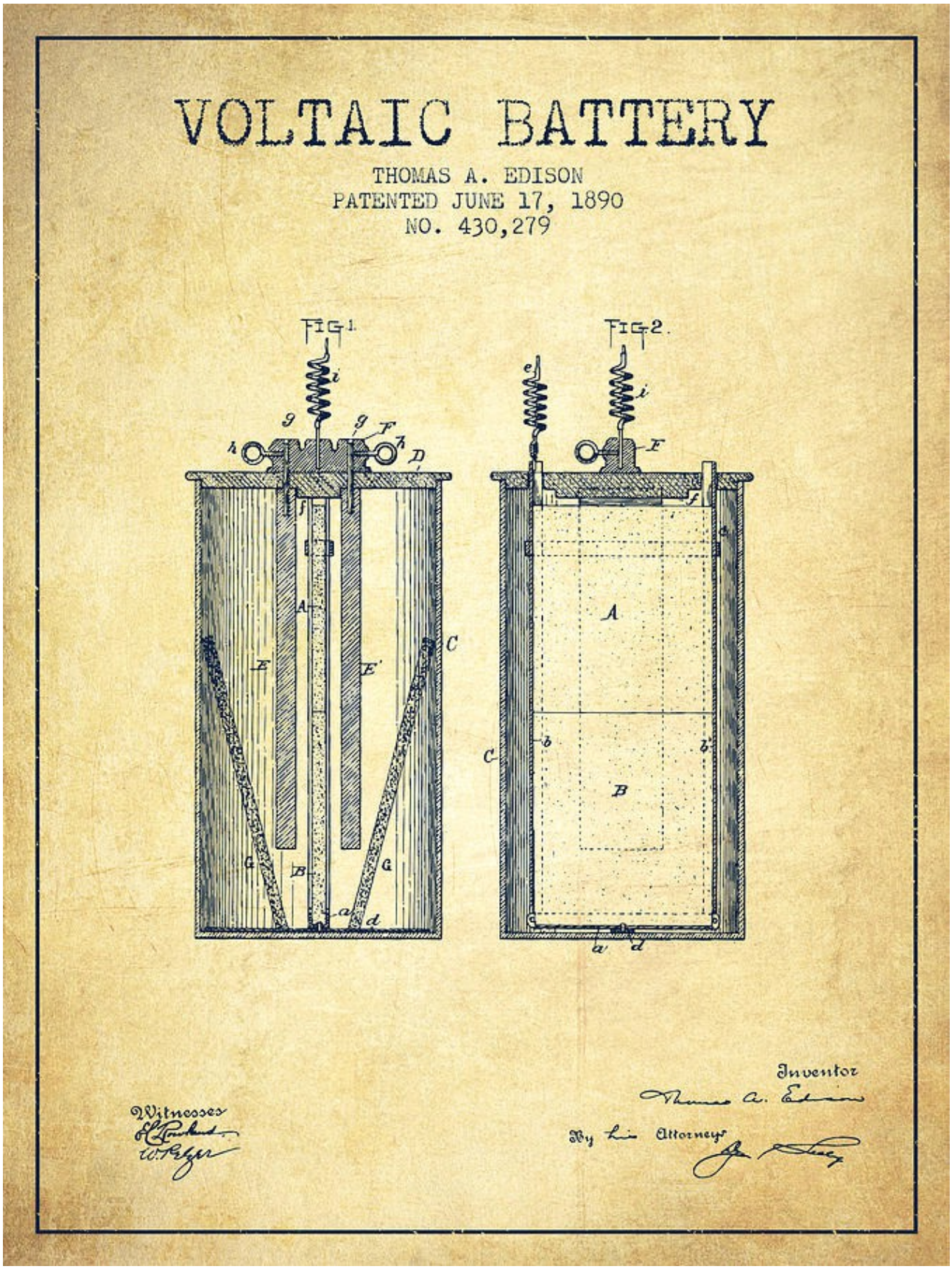
Verso la fine degli anni '30, prima dello scoppio della Seconda guerra mondiale, il settore delle pile era ormai un'industria globale. Le grandi aziende producevano milioni di unità l'anno, esportavano in ogni continente, e sviluppavano continuamente nuove tecnologie. Si stavano già testando nuove combinazioni chimiche per ottenere una maggiore durata, una tensione più stabile, una maggiore sicurezza. Si trattava ormai di una corsa all'innovazione, in cui la pila era diventata parte integrante della cultura materiale del Novecento.

Anche sul piano simbolico, la batteria assumeva un nuovo significato. Se nel Settecento era una curiosità da salotto scientifico e nell'Ottocento uno strumento per la scoperta, nel primo Novecento la pila diventava sinonimo di energia pronta, di mobilità, di modernità. Compariva nelle pubblicità, nelle confezioni colorate, nei supermercati. Era oggetto di consumo, ma anche simbolo di progresso.

Eppure, nonostante tutta questa evoluzione, le pile avevano ancora dei limiti importanti. La tensione era bassa (1,5 volt per le pile zinco-carbone), la durata relativamente breve, e soprattutto non erano ricaricabili. L'accumulatore al piombo esisteva, certo, ma era pesante, ingombrante, e poco adatto all'uso personale. L'idea di una batteria leggera, potente e ricaricabile — quella che oggi diamo per scontata nei telefoni e nei computer portatili — era ancora lontana.

Questi limiti, però, avrebbero presto incontrato nuovi stimoli. Con la guerra in arrivo, e con le grandi trasformazioni tecnologiche del dopoguerra, si apriva una nuova fase: quella della miniaturizzazione, dell'elettronica, e infine dell'era digitale. Ma tutto questo era ancora da venire.

Per ora, la pila aveva già fatto molta strada: da un esperimento su una lingua di rana, era diventata una compagna quotidiana di milioni di persone. Un piccolo cilindro di metallo che conteneva, in miniatura, tutta l'energia di un secolo.


VOLTAIC BATTERY
THOMAS A. EDISON
PATENTED JUNE 17, 1890
NO. 430,279
FIG. 1.
FIG. 2.
Witnesses
Inventor
By his Attorneys

Capitolo 5 – Energia in tasca: la pila nell'era della miniaturizzazione (1940–1970)

Allo scoppio della Seconda guerra mondiale, l'elettricità portatile era ormai un asset fondamentale per ogni esercito moderno. La pila, già ampiamente diffusa tra civili e militari, si trovava ora al centro di nuove applicazioni strategiche: torce da campo, radio ricetrasmittenti, mine elettroniche, apparecchi per la crittografia, rilevatori radar in miniatura. La guerra, come spesso accade nella storia della tecnologia, fu una potente acceleratrice di innovazione. E la pila, ancora una volta, cambiò forma, funzione e significato.

Durante il conflitto, l'industria bellica investì enormi risorse nello sviluppo di pile più leggere, più durature e più affidabili. Il fronte di battaglia era spesso impervio, lontano dalle linee elettriche, e gli uomini dovevano contare su dispositivi alimentati da batterie in ogni condizione atmosferica. Furono anni di sperimentazioni frenetiche: si migliorarono le prestazioni delle pile zinco-carbone, si perfezionarono i materiali degli involucri per resistere all'umidità, si introdussero per la prima volta pile miniaturizzate per strumenti speciali.

Fu in questo contesto che nacque una delle innovazioni più significative della storia della batteria: la pila alcalina. Sebbene i principi alla base fossero già stati studiati nei decenni precedenti, fu solo alla fine degli anni '40 che la tecnologia fu perfezionata e introdotta sul mercato su scala industriale. A svilupparla furono, in modo quasi parallelo, diversi gruppi di ricerca, ma il nome più associato a questa innovazione è quello del canadese Lewis Urry, un ingegnere della Eveready (poi Energizer), che nei primi anni '50 riuscì a realizzare un prototipo efficiente e commercializzabile.

La pila alcalina utilizzava un elettrolita a base di idrossido di potassio (al posto del cloruro d'ammonio), che permetteva una reazione chimica più stabile e duratura. Questo si traduceva in una durata molto maggiore rispetto alle pile tradizionali, soprattutto in applicazioni ad alto consumo come i motori elettrici o i flash fotografici. Le alcaline diventarono rapidamente il nuovo standard di riferimento, anche se inizialmente il loro costo era più elevato.

Nel dopoguerra, l'elettronica conobbe una vera e propria rivoluzione in miniatura. I grandi apparecchi a valvole termoioniche cominciarono ad essere sostituiti da circuiti stampati e, successivamente, dai primi transistor. La possibilità di costruire dispositivi più piccoli e leggeri aprì la strada a una nuova generazione di oggetti portatili: radio tascabili, registratori vocali, apparecchi acustici, calcolatrici elettroniche. Tutti strumenti che, per funzionare, avevano bisogno di energia compatta. E la risposta era una sola: pile più piccole.

La necessità di miniaturizzazione portò alla nascita di nuovi formati di batteria, tra cui le celeberrime pile a bottone. Inventate negli anni '50, queste piccole celle circolari erano perfette per i dispositivi in miniatura: orologi da polso elettrici, macchine fotografiche con esposimetro automatico, apparecchi acustici. Le pile a bottone potevano essere al mercurio, all'ossido d'argento o al litio (queste ultime arriveranno qualche decennio dopo), e rappresentarono una vera rivoluzione per la portabilità della tecnologia.

Parallelamente, continuavano a perfezionarsi anche le batterie ricaricabili, un campo che aveva già fatto progressi nell'Ottocento con gli accumulatori al piombo. Ma il piombo era pesante, ingombrante e poco adatto alla miniaturizzazione. Nacquero così batterie al nichel-cadmio (NiCd), ideali per dispositivi che dovevano essere ricaricati spesso e durare a lungo, come gli utensili elettrici portatili, i primi telefoni cordless o i giocattoli motorizzati. I NiCd, commercializzati su vasta scala a partire dagli anni '60, offrirono un'alternativa seria alle pile usa-e-getta.

Nel frattempo, la pila diventava sempre più presente nella cultura materiale del tempo. Ogni casa aveva un cassetto pieno di pile, ogni bambino conosceva la frustrazione di un giocattolo che "non

funziona più" e che "forse ha bisogno di batterie nuove". La pila era diventata una routine, un bene di consumo quotidiano, un oggetto quasi invisibile perché ormai dato per scontato.

In quegli stessi anni, la pubblicità iniziò a giocare un ruolo fondamentale nella diffusione di massa delle batterie. I marchi principali — Energizer, Duracell, Panasonic, Sony — cominciarono a sfidarsi anche sul piano della comunicazione. Le pile non erano più solo oggetti tecnici, ma prodotti da scaffale, da promuovere con mascotte accattivanti, slogan, confronti tra "durata extra" e "potenza super". Si faceva marketing sulle "ore di autonomia", si usavano le pile come simbolo di affidabilità. E il pubblico rispondeva: il mercato cresceva a vista d'occhio.

La standardizzazione delle dimensioni contribuì ulteriormente al successo. Le pile vennero codificate con lettere e numeri: AA, AAA, C, D, 9V. Questo linguaggio universale facilitava la sostituzione, la produzione in serie e l'intercambiabilità tra dispositivi. Anche il design si fece più uniforme: cilindri metallici con polarità ben segnalate, rivestimenti colorati con il marchio stampato, etichette resistenti all'umidità.

Anche la musica fu toccata dalla rivoluzione delle pile. Con la nascita dei giradischi portatili, e più tardi dei mangianastri, era possibile ascoltare brani ovunque, anche in spiaggia, in campeggio, per strada. E senza batterie, tutto ciò non sarebbe stato possibile. Negli anni '60, un simbolo di questa nuova libertà sonora fu la radio portatile a transistor, alimentata da batterie alcaline: piccola, economica, leggera, e accessibile a tutti.

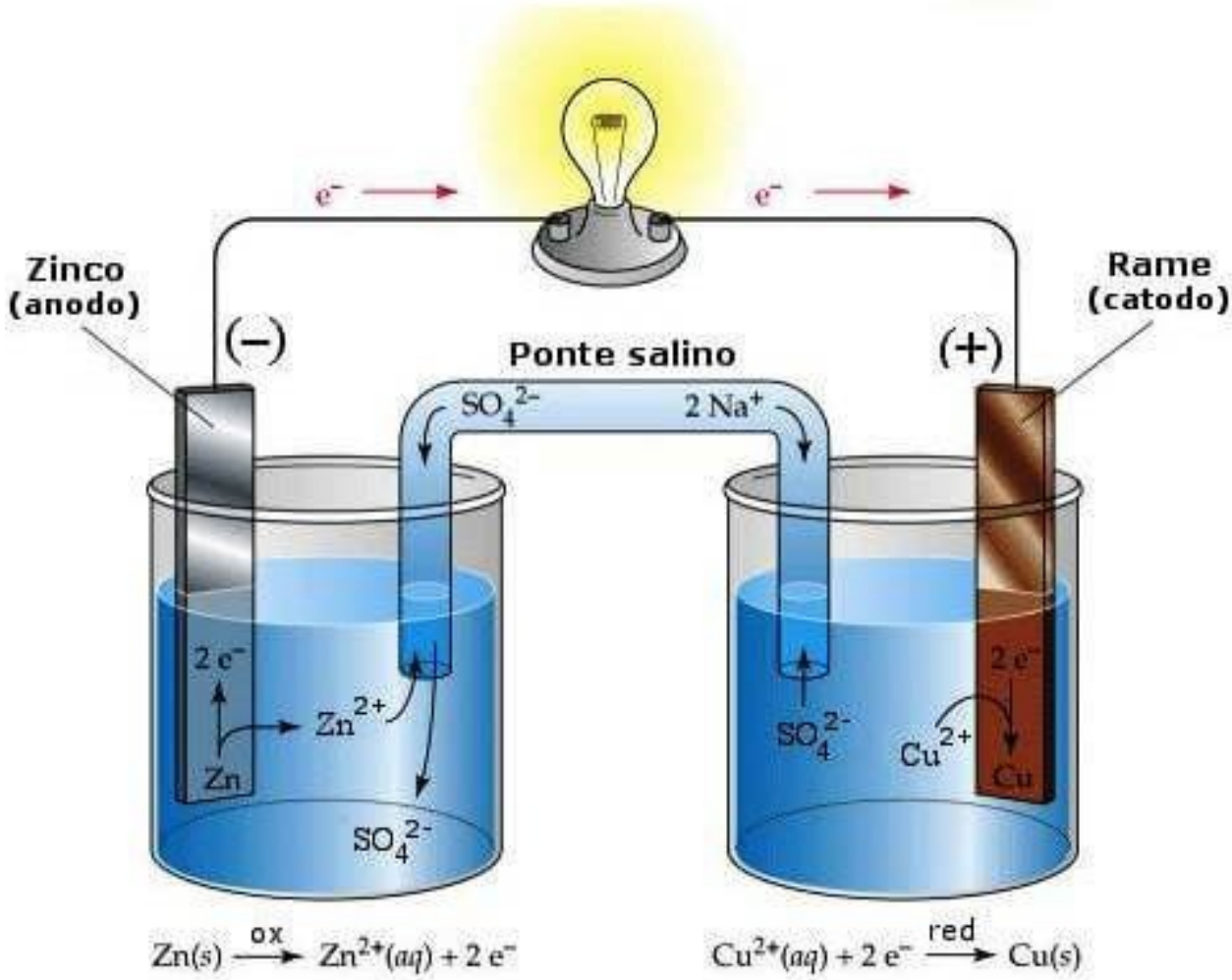
Nel frattempo, però, cominciavano ad emergere le prime vere preoccupazioni ambientali legate alle batterie. I metalli pesanti — cadmio, mercurio, piombo — erano altamente tossici e difficili da smaltire. Le pile finite nelle discariche rilasciavano sostanze inquinanti nel suolo e nelle acque. La consapevolezza ecologica era ancora agli albori, ma alcuni governi iniziarono a introdurre regolamenti e sistemi di raccolta differenziata per le batterie esauste. Era l'inizio di un lungo processo di sensibilizzazione che avrebbe raggiunto piena maturità solo decenni dopo.

La scienza, tuttavia, continuava ad avanzare. Nuove ricerche chimiche puntavano a migliorare le prestazioni delle batterie, aumentarne la durata e ridurne l'impatto ambientale. Si sperimentavano combinazioni sempre più sofisticate: zinco-aria, argento-zinco, litio-cloruro di tionile. Alcune di queste sarebbero rimaste relegate ad applicazioni specialistiche (come l'aerospaziale o la medicina), ma altre avrebbero segnato la futura evoluzione delle batterie per tutti.

In parallelo, l'universo militare e quello aerospaziale chiedevano sempre di più. I missili, i satelliti, le sonde spaziali necessitavano di sistemi di alimentazione estremamente affidabili, capaci di funzionare per anni senza manutenzione, in condizioni estreme di temperatura e pressione. Fu proprio per queste esigenze che si cominciò a investire seriamente nel litio come materiale base per nuove batterie. Ma questo tema sarà centrale nel capitolo successivo.

Nel 1970, l'umanità era pronta a entrare in una nuova epoca. La pila, da oggetto di laboratorio settecentesco, era diventata parte integrante della quotidianità: nei telecomandi, nei giochi elettronici, nelle macchine fotografiche, nei dispositivi medici, nelle comunicazioni personali. Era ovunque, silenziosa ma indispensabile, simbolo perfetto della tecnologia portatile che stava trasformando il mondo.

L'energia era ormai in tasca. E il mondo, sempre più mobile e interconnesso, non poteva più farne a meno.


e⁻
e⁻
Zinco
(anodo)
Rame
(catodo)
(−)
(+)
Ponte salino
SO4 2-
2 Na+
2 e⁻
Zn
Zn2+
SO4 2-
SO4 2-
Cu2+
2 e⁻
Cu
Zn(s) ox Zn2+(aq) + 2 e⁻
Cu2+(aq) + 2 e⁻ red Cu(s)

Capitolo 6 – La rivoluzione del litio: potenza e leggerezza per l'era digitale (1970–1990)

Agli inizi degli anni '70, mentre il mondo si lasciava alle spalle l'epoca dei grandi elettrodomestici e dell'elettronica analogica, la pila si trovava davanti a una nuova sfida: alimentare la nascente rivoluzione digitale. L'informatica personale, la telefonia mobile e i dispositivi portatili richiedevano fonti di energia sempre più efficienti, compatte, leggere e di lunga durata. Le vecchie tecnologie — dalle zinco-carbone alle alcaline, dalle pile a bottone alle nichel-cadmio — cominciavano a mostrare i propri limiti.

La risposta a questa esigenza arrivò da uno degli elementi chimici più leggeri e reattivi della tavola periodica: il litio.

Il litio era già noto per le sue proprietà elettrochimiche sin dal XIX secolo, ma fu solo nel secondo dopoguerra che si cominciò a esplorarne seriamente le potenzialità in ambito energetico. La ragione era chiara: il litio ha un altissimo potenziale elettrochimico e una densità energetica superiore a quella di qualsiasi altro metallo usato nelle batterie. In pratica, permette di immagazzinare più energia in meno spazio e con meno peso. Era l'ideale per una generazione di dispositivi elettronici sempre più piccoli, mobili e affamati di energia.

Tuttavia, tradurre queste promesse teoriche in batterie sicure e commercializzabili non fu un percorso semplice. Il litio, altamente reattivo, poteva incendiarsi facilmente a contatto con l'umidità o l'ossigeno. Le prime celle al litio sviluppate negli anni '70 erano non ricaricabili e venivano utilizzate soprattutto in contesti specializzati: apparecchiature mediche, orologi di precisione, dispositivi militari, calcolatrici scientifiche. Queste pile "primarie" al litio offrivano lunga durata e stabilità, ma non erano adatte ai dispositivi elettronici di uso quotidiano che necessitavano di cicli di ricarica continui.

Il vero punto di svolta arrivò negli anni '80 con lo sviluppo delle prime batterie ricaricabili al litio. Questo traguardo fu raggiunto grazie al lavoro pionieristico di diversi ricercatori, tra cui spiccano i nomi di John B. Goodenough, Rachid Yazami e Akira Yoshino. I loro studi portarono alla nascita delle batterie agli ioni di litio (Li-ion), una tecnologia che avrebbe trasformato radicalmente il mondo dell'energia portatile.

Il principio alla base delle batterie Li-ion è tanto elegante quanto potente: anziché utilizzare litio metallico (pericoloso), si impiegano ioni di litio che si muovono avanti e indietro tra due elettrodi, tipicamente uno di ossido di cobalto di litio ($LiCoO_2$) e uno di grafite. Questo sistema garantiva alta densità energetica, bassa autoscarica, assenza di "effetto memoria" (problema tipico delle NiCd), e soprattutto la possibilità di essere ricaricato centinaia di volte senza perdere efficienza.

Ma prima che le Li-ion potessero diventare un prodotto di consumo, fu necessario superare una lunga serie di ostacoli tecnici e commerciali. La svolta avvenne nel 1991, quando la Sony lanciò sul mercato la prima batteria agli ioni di litio destinata al grande pubblico. Era destinata alle videocamere portatili, ma aprì la strada a un'intera generazione di prodotti: laptop, telefoni cellulari, fotocamere digitali, lettori MP3.

Negli anni '70 e '80, prima dell'avvento delle Li-ion, il mercato delle batterie era comunque in piena espansione. Le pile alcaline continuavano a dominare la scena per dispositivi comuni come torce, telecomandi, giocattoli elettronici, mentre le NiCd (e successivamente le NiMH, nichel-metallo idruro) conquistavano spazio nei cordless, nei primi computer portatili, nei rasoi elettrici. L'autonomia di questi dispositivi era ancora modesta, ma i consumatori cominciavano a fare affidamento sull'energia mobile come mai prima.

La miniaturizzazione dei dispositivi elettronici portò a una richiesta crescente di batterie più piccole ma potenti. Ecco allora la diffusione massiccia delle pile a bottone al litio, perfette per gli orologi digitali, i telecomandi per auto, i piccoli computer palmari, i dispositivi medici impiantabili come pacemaker e defibrillatori. Per questi ultimi, la stabilità e l'affidabilità del litio erano letteralmente vitali: si trattava di apparecchi che dovevano funzionare per anni all'interno del corpo umano senza possibilità di ricarica o sostituzione.

Anche l'ambito militare e spaziale giocò un ruolo chiave nello sviluppo delle batterie al litio. Le missioni della NASA e delle agenzie spaziali di tutto il mondo richiedevano accumulatori di energia estremamente affidabili, capaci di resistere a temperature estreme e di operare in ambienti senza atmosfera. Le prime sonde interplanetarie, i satelliti artificiali e i sistemi di guida dei missili utilizzavano batterie avanzatissime, spesso al litio, sviluppate appositamente per queste applicazioni.

Nel frattempo, prendeva forma un altro fenomeno destinato a cambiare il nostro rapporto con la tecnologia portatile: la diffusione dei computer personali. I primi modelli portatili, seppur ingombranti, iniziarono a comparire già alla fine degli anni '70. Il Osborne 1, l'IBM PC Convertible, il Compaq Portable erano pionieri di una nuova mobilità informatica. Ma la vera portabilità era ancora limitata dall'autonomia delle batterie, che spesso non superava un paio d'ore. Solo con l'avvento delle batterie al litio, i notebook sarebbero diventati veramente autonomi e pratici.

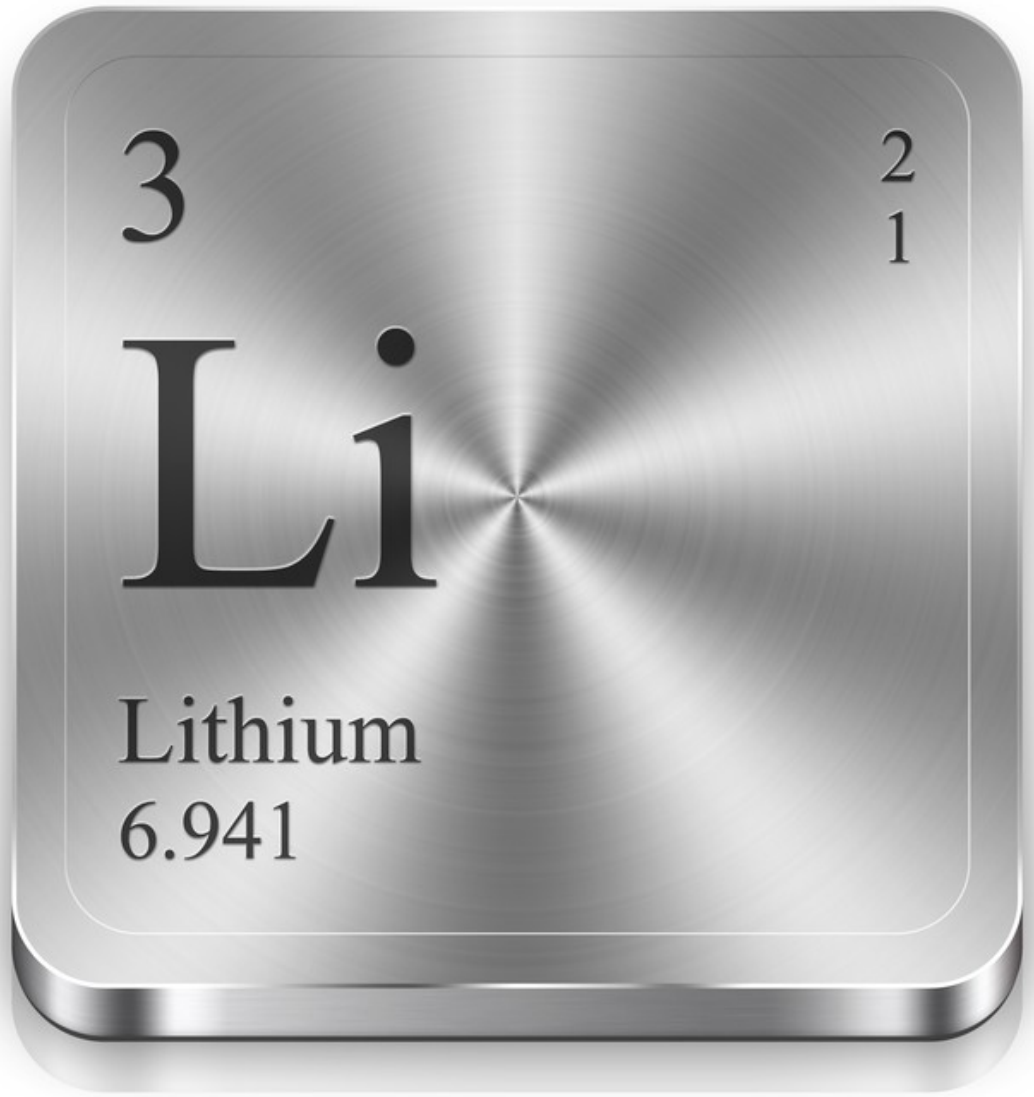
Negli stessi anni, la telefonia mobile cominciava a muovere i primi passi. I "mattoni" portatili degli anni '80 — grandi, pesanti, con antenne telescopiche e batterie NiCd a bassa durata — erano lontani dall'immagine dello smartphone moderno. Ma già allora si capiva che il futuro della comunicazione sarebbe stato senza fili, e quindi dipendente da batterie sempre più leggere e performanti.

Con l'evoluzione dei dispositivi, evolse anche l'industria della batteria stessa. Le aziende investivano sempre di più in ricerca e sviluppo. Nacquero nuove collaborazioni tra produttori di elettronica e produttori di batterie: Sony, Panasonic, Toshiba, Samsung, LG, Sanyo. Le batterie non erano più considerate meri "accessori", ma componenti strategici e integrati nella progettazione dell'intero dispositivo. L'architettura di uno smartphone o di un laptop moderno si costruisce attorno alla batteria: forma, dimensione, capacità, modalità di ricarica.

Sul piano ambientale, intanto, cresceva la consapevolezza. I problemi legati allo smaltimento dei metalli pesanti portarono a leggi più stringenti in molti paesi. Furono istituiti sistemi di raccolta differenziata per le batterie esauste, e si cominciò a lavorare su programmi di riciclo dei materiali. L'Unione Europea, gli Stati Uniti e il Giappone furono in prima linea nella regolamentazione e nel controllo della filiera.

Intorno alla batteria si stava creando un ecosistema tecnologico e commerciale globale, con impatti sull'ambiente, sulla salute, sull'industria e sul quotidiano. Le batterie non erano più solo piccoli contenitori di energia: erano diventate una delle tecnologie fondamentali per la società dell'informazione.

Il litio, un tempo elemento esotico e poco usato, era ormai protagonista assoluto. L'inizio degli anni '90 segnava la fine dell'epoca pionieristica delle batterie al litio e l'ingresso in quella della loro piena commercializzazione. La strada era pronta per l'era della mobilità totale, dell'elettronica indossabile, dei veicoli elettrici e dell'internet delle cose. Ma per comprendere davvero il salto che stava per compiersi, bisogna guardare al decennio successivo — quando il mondo avrebbe iniziato a vivere, lavorare, comunicare e divertirsi alimentato quasi interamente… a batteria.


3
2
1
Li
Lithium
6.941

Capitolo 7 – L’era della mobilità totale: batterie per telefoni, portatili e dispositivi intelligenti (1990–2010)

Quando nel 1991 la Sony introdusse sul mercato la prima batteria agli ioni di litio destinata al grande pubblico, pochi immaginavano che quell’evento avrebbe segnato l’inizio di una trasformazione epocale. Quella batteria, originariamente pensata per le videocamere portatili, non era solo una nuova tecnologia: era una promessa di autonomia, leggerezza e potenza per un mondo che cominciava a desiderare una vita sempre più connessa, portatile, senza fili.

L’ingresso delle batterie agli ioni di litio (Li-ion) nel mercato di massa coincise con un periodo di straordinaria evoluzione tecnologica. Tra il 1990 e il 2010 si assistette a una vera esplosione di dispositivi elettronici portatili: telefoni cellulari, computer portatili, fotocamere digitali, console da gioco tascabili, lettori MP3, palmari. Tutti avevano un elemento in comune: dipendevano da batterie ricaricabili sempre più performanti. E la batteria, da semplice accessorio, divenne protagonista silenziosa ma indispensabile del nostro vivere quotidiano.

I primi cellulari portatili, già apparsi negli anni ’80, erano veri e propri “mattoni” alimentati da batterie NiCd, pesanti, ingombranti, con autonomia limitata. Ma con l’introduzione delle batterie al litio, la situazione cambiò radicalmente. I telefoni cominciarono a ridursi di dimensioni, a diventare più leggeri, più sottili. Modelli come il Motorola StarTAC (1996), il Nokia 3210 (1999) o il Sony Ericsson T610 (2003) segnarono tappe fondamentali non solo nel design, ma anche nell’affermazione dell’idea che un telefono potesse essere veramente personale e portatile.

Parallelamente, i computer portatili, un tempo riservati a professionisti e tecnici, iniziarono a diffondersi tra il grande pubblico. Grazie alle batterie Li-ion, che garantivano un’autonomia crescente (fino a 4–5 ore e oltre), i laptop diventarono strumenti di lavoro quotidiani. Studenti, manager, freelance cominciarono a lavorare in mobilità, nei bar, sugli aerei, nei treni. L’informatica mobile era ormai una realtà, e la batteria ne era il cuore pulsante. Ma la rivoluzione energetica non si fermò lì. In quegli anni fiorirono una serie di dispositivi personali che avrebbero ulteriormente ridefinito il nostro rapporto con la tecnologia e con l’energia portatile.

Uno degli esempi più significativi fu l’arrivo dei lettori MP3, capeggiati dal mitico iPod della Apple, lanciato nel 2001. Con una batteria al litio integrata e ricaricabile tramite USB, l’iPod offriva ore e ore di musica digitale senza dover cambiare pile, segnando una svolta anche culturale. La musica non era più legata a supporti fisici: era mobile, personale, e alimentata da batterie invisibili ma indispensabili.

Un altro ambito che conobbe un’enorme espansione grazie alle batterie al litio fu quello delle fotocamere digitali. Fino agli anni ’90, le macchine fotografiche richiedevano pile AA o AAA, spesso alcaline, che si esaurivano rapidamente. Ma con l’arrivo delle digitali a partire dal 1995 circa, e il miglioramento delle batterie ricaricabili, diventò finalmente possibile scattare centinaia di foto, visualizzarle sul display, trasferirle al computer, tutto senza pensare al consumo energetico come un problema costante.

Nel frattempo, nuove forme di tecnologia personale cominciavano a emergere. I palmari (come i Palm Pilot o i Pocket PC), gli organizer digitali, i navigatore GPS portatili, e infine le console da gioco portatili (come il Game Boy Advance SP o la Sony PSP) estendevano ulteriormente l’universo della mobilità digitale. Tutti questi dispositivi dipendevano da batterie capaci, leggere e a lunga durata. La Li-ion si affermava come lo standard, surclassando definitivamente le vecchie NiCd e, progressivamente, anche le NiMH.

In questo contesto di rapido sviluppo, si affacciava anche un’altra necessità: gestire la ricarica in modo semplice e universale. I primi anni 2000 videro l’introduzione e la diffusione delle porte USB

come standard di ricarica. Questo cambiamento, apparentemente tecnico, fu in realtà rivoluzionario: per la prima volta, era possibile ricaricare i propri dispositivi ovunque, dal computer, da una presa da muro, in auto. I cavi di ricarica divennero ubiqui, e nacque un'intera industria di accessori legati all'alimentazione portatile.

Tuttavia, questo periodo non fu privo di problemi. Le batterie al litio, pur sicure se progettate correttamente, potevano rappresentare un rischio in caso di difetti di produzione, surriscaldamenti o cortocircuiti. I primi anni 2000 videro diversi casi di batterie esplose o andate a fuoco, soprattutto in computer portatili e telefoni cellulari. Questi incidenti portarono a richiami massicci da parte di aziende come Dell, Apple e Sony, e spinsero l'industria a rafforzare gli standard di sicurezza.

Per mitigare questi rischi, furono sviluppati sistemi elettronici di protezione integrati nelle batterie stesse: circuiti in grado di interrompere il flusso di corrente in caso di sovraccarico, surriscaldamento o cortocircuito. Anche i caricabatterie furono migliorati, con algoritmi intelligenti per la gestione dei cicli di carica, che prolungavano la vita utile delle celle.

Allo stesso tempo, aumentava l'attenzione all'impatto ambientale delle batterie. Il litio, pur meno inquinante del cadmio o del piombo, richiedeva comunque un'estrazione mineraria intensiva, spesso in aree delicate come il Sud America, dove si trovano enormi salares ricchi di sali di litio. Inoltre, il cobalto utilizzato negli elettrodi proveniva in gran parte dalla Repubblica Democratica del Congo, con tutte le problematiche etiche legate allo sfruttamento dei minori e alle condizioni di lavoro.

Queste problematiche iniziarono a entrare nel dibattito pubblico solo verso la fine degli anni 2000, ma avrebbero avuto un impatto crescente negli anni successivi, man mano che la domanda di batterie aumentava in modo esponenziale.

Un'altra questione cruciale emersa in quegli anni fu la durata della batteria. Man mano che i dispositivi diventavano più potenti e sofisticati, la richiesta energetica aumentava. Gli smartphone, per esempio, introdotti verso la fine del decennio (con l'iPhone nel 2007), integravano schermi sempre più grandi, connessioni Wi-Fi, GPS, fotocamere, processori potenti. Questo comportava un maggiore consumo energetico, e quindi la necessità di batterie più capienti o di tecnologie di gestione dell'energia più efficienti.

Gli ingegneri iniziarono a sperimentare soluzioni innovative: dalla sospensione automatica dei processi in background alla riduzione della luminosità dello schermo, dai sistemi operativi ottimizzati all'uso di modalità "risparmio energia". Parallelamente, i produttori sviluppavano batterie con forme su misura per adattarsi perfettamente ai design sottili dei nuovi device, massimizzando lo spazio interno.

Verso la fine degli anni 2000, la batteria era ormai diventata un fattore competitivo fondamentale nel mercato dell'elettronica di consumo. Un telefono con più autonomia, un laptop che durava un'intera giornata di lavoro senza caricabatterie, un lettore musicale che funzionava per settimane con una singola carica: erano vantaggi che facevano la differenza nelle scelte dei consumatori.

E così, in meno di vent'anni, la pila era passata da elemento quasi invisibile a cuore tecnologico di una società mobile, connessa e digitale. Era diventata non solo fonte di energia, ma simbolo stesso di libertà: la libertà di comunicare, lavorare, creare, viaggiare, ascoltare musica o scattare foto, ovunque e in qualsiasi momento.

Il mondo stava entrando in una nuova epoca: quella dei dispositivi intelligenti, dell'automazione domestica, dei veicoli elettrici e delle energie rinnovabili. Una nuova sfida energetica si affacciava all'orizzonte: garantire non solo autonomia individuale, ma sostenibilità collettiva.

E la batteria, ancora una volta, si preparava a evolvere per rispondere a questa nuova richiesta.

DURACELL
KODAK
Energizer
GP ALKALINE
DURACELL PLUS
DURACELL ULTRA POWER
DURACELL LITHIUM BATTERY
AA ALKALINE amazonbasics
SIMPLY
LONGLIFE
extra

Capitolo 8 – La batteria nel cuore della transizione ecologica: tra auto elettriche e fonti rinnovabili (2000–2020)

All'inizio del nuovo millennio, la batteria non era più solo un supporto tecnologico: era diventata un motore di trasformazione ambientale e sociale. Mentre il mondo prendeva sempre più coscienza dei limiti delle risorse fossili e dell'urgenza del cambiamento climatico, l'attenzione si spostava verso nuove forme di mobilità, nuove fonti di energia e nuove strategie per ridurre le emissioni. E al centro di tutto questo, ancora una volta, c'era la pila.

Se nei decenni precedenti le batterie avevano reso possibile la portabilità dell'elettronica personale, nei primi vent'anni del XXI secolo esse cominciarono a ridefinire interi settori industriali: l'automobile, l'energia domestica, la gestione delle reti elettriche, perfino l'esplorazione spaziale. La batteria diventava la chiave per liberarsi dal petrolio, per immagazzinare il sole, per rendere autonoma una casa o un veicolo. Era la base della cosiddetta transizione ecologica.

Tra tutte le rivoluzioni innescate, nessuna fu più visibile (e discussa) di quella dell'auto elettrica. L'idea di un veicolo alimentato a batteria non era nuova, già nei primi del Novecento esistevano prototipi di automobili elettriche, ma è solo nei primi anni 2000 che questa visione comincia a diventare realtà industriale. Il punto di svolta fu il 2008, quando una giovane startup californiana di nome Tesla Motors lanciò la sua prima auto: la Tesla Roadster. Basata su una batteria agli ioni di litio, la Roadster era in grado di percorrere oltre 300 chilometri con una sola carica: una cifra impensabile fino a pochi anni prima.

La scelta della batteria Li-ion non fu casuale. Grazie alla sua elevata densità energetica, alla possibilità di essere ricaricata migliaia di volte e alla sua relativa leggerezza, questa tecnologia permetteva di immagazzinare energia a sufficienza per muovere un veicolo, pur mantenendo dimensioni e pesi accettabili. Tesla fu la prima a crederci davvero, ma presto anche i giganti dell'automobile, da Nissan a BMW, da Chevrolet a Renault, cominciarono a sviluppare modelli elettrici o ibridi plug-in, segnando l'inizio di una nuova corsa tecnologica.

Il vero problema, tuttavia, non era solo produrre buone batterie, ma gestire la ricarica, la durata e soprattutto i costi. Le prime auto elettriche erano ancora molto costose, in parte proprio per il prezzo elevato delle celle al litio, ma anche perché mancava un'infrastruttura capillare per la ricarica rapida. Questo spinse governi e aziende a investire massicciamente nella creazione di reti di colonnine, stazioni di ricarica ultraveloci, e incentivi all'acquisto per i consumatori.

Intanto, la ricerca sui materiali per batterie si intensificava. Si cercavano alternative al cobalto, spesso criticato per il suo impatto ambientale e sociale. Si studiavano anodi al silicio, cattodi al manganese, elettroliti solidi per rendere le batterie più sicure e durature. Si testavano soluzioni innovative come le batterie a stato solido, capaci di offrire maggiore autonomia e tempi di ricarica ridotti. E, nel frattempo, si cercava anche di migliorare il riciclo: il tema dello smaltimento delle batterie esauste diventava sempre più pressante.

Ma l'auto non era l'unico campo in cui la batteria si stava rivelando rivoluzionaria. Un'altra sfida fondamentale era quella dell'accumulo dell'energia rinnovabile. Sole e vento, per quanto puliti e abbondanti, hanno un limite: sono intermittenti. Il sole non splende di notte, il vento non soffia sempre. Questo significa che per utilizzare davvero le rinnovabili su larga scala è necessario immagazzinare l'energia prodotta quando c'è, per usarla quando serve. E qui entra di nuovo in gioco la batteria.

Nel 2015, Elon Musk, lo stesso visionario dietro Tesla, lanciò la Tesla Powerwall, una batteria domestica progettata per accumulare l'energia solare prodotta da pannelli fotovoltaici. L'idea era semplice ma potentissima: rendere le case autonome dal punto di vista energetico. Con una

Powerwall installata in garage e un tetto fotovoltaico, una famiglia poteva teoricamente coprire il proprio fabbisogno senza mai attingere alla rete elettrica tradizionale. Era un passo verso quella che alcuni chiamano "grid parity": un mondo in cui ciascuno può produrre, accumulare e gestire la propria energia.

Questa visione attirò subito l'interesse di governi, aziende e ambientalisti. In Australia, ad esempio, interi quartieri cominciarono a dotarsi di sistemi di accumulo energetico domestico. In California, uno degli stati più avanti nella transizione ecologica, la diffusione di pannelli solari e batterie aumentò vertiginosamente, anche grazie a incentivi statali. E in Germania, il concetto di "prosumers" (produttori-consumatori) divenne una realtà concreta: cittadini che non solo consumano elettricità, ma la producono e la immettono nella rete, diventando parte attiva del sistema.

Su scala più ampia, si cominciarono a costruire mega-impianti di accumulo: enormi batterie al litio collegate alla rete elettrica, capaci di stabilizzare la produzione rinnovabile, assorbire i picchi, fornire energia nei momenti di emergenza. In luoghi come la California, il Regno Unito o il Giappone, queste installazioni diventavano parte integrante del nuovo paesaggio energetico. E la tecnologia alla base, la stessa usata per auto e smartphone, dimostrava tutta la sua versatilità.

Naturalmente, tutto questo comportava nuove sfide. La produzione di batterie su larga scala richiede enormi quantità di materie prime: litio, nichel, manganese, grafite. Questo ha portato a una vera e propria "corsa al litio", con investimenti, miniere, accordi geopolitici in paesi come il Cile, la Bolivia, l'Argentina e l'Australia. Alcuni osservatori iniziarono a parlare del litio come del "nuovo petrolio", essenziale per l'economia del futuro, ma non privo di rischi ambientali, politici e sociali.

Parallelamente, si sollevava il tema della sostenibilità del ciclo di vita delle batterie: come ridurne l'impatto? Come riciclare le batterie a fine uso? Come evitare che finiscano in discarica? Diverse aziende, come Umicore o Redwood Materials, cominciarono a sviluppare impianti di recupero dei materiali, mentre l'Unione Europea e altri organismi internazionali proponevano regolamenti sempre più stringenti sul riciclo obbligatorio. Si affermava il concetto di "economia circolare delle batterie", in cui nulla va sprecato e ogni componente viene reimpiegato.

In questo panorama dinamico, anche le tecnologie alternative cominciavano a farsi strada. Si studiavano le batterie al sodio, più economiche e potenzialmente più ecologiche. Si sperimentavano batterie "flow", in cui l'energia è contenuta in liquidi che scorrono attraverso celle elettrochimiche. Si cercavano supercondensatori per cariche rapidissime, anche se con capacità limitata. La batteria, insomma, non era più una semplice scatola chiusa: era diventata un campo di ricerca avanzato, in continua evoluzione.

E mentre le case si trasformavano in piccole centrali elettriche, mentre le auto silenziose scorrevano sulle strade senza scarichi, mentre l'energia solare alimentava fabbriche e scuole, la consapevolezza collettiva cambiava. Sempre più persone capivano che la transizione ecologica non era solo una questione di energia, ma anche di tecnologia, di infrastrutture, di stile di vita. E che nel cuore di questa trasformazione c'era una piccola, silenziosa, potentissima batteria.

La pila, nata oltre due secoli prima per alimentare esperimenti scientifici, era diventata un simbolo della sostenibilità, dell'innovazione, dell'autonomia. Ma il suo viaggio non era ancora finito. All'orizzonte si profilavano nuove sfide: la mobilità aerea elettrica, l'elettrificazione del trasporto navale, i dispositivi medici impiantabili, l'Internet of Things, le missioni spaziali con propulsione elettrica.

Il futuro chiedeva ancora più energia, più autonomia, più efficienza. E la batteria, ancora una volta, si preparava a cambiare forma per accompagnare l'umanità in questa nuova fase.

BUILT TO SERVE YOU *long and well*

WILLARD BATTERIES—Automobile • Truck and Bus • Radio • Motorcycle • Tractor • Aircraft • Marine • Diesel • Stationary—Sold and serviced by Willard Dealers everywhere.

"SAFETY-FILL" BATTERIES

Willard

Dependability • Performance • Long Life

WILLARD STORAGE BATTERY CO. • CLEVELAND • LOS ANGELES • DALLAS • TORONTO

A subsidiary of The Electric Storage Battery Company

Capitolo 9 – Le batterie come cuore dell'elettronica personale: tra miniaturizzazione e ubiquità (2000–2020)

Se nel precedente capitolo abbiamo osservato come le batterie siano diventate protagoniste della transizione ecologica, con un ruolo chiave nell'automobile elettrica e nell'energia rinnovabile, in questo analizzeremo un'altra rivoluzione, più silenziosa ma non meno radicale, che ha investito la nostra quotidianità: la batteria come cuore invisibile dell'elettronica personale. Dallo smartphone allo smartwatch, dal laptop al drone, dalla fotocamera al dispositivo medico impiantabile, ogni oggetto intelligente che portiamo con noi, o indossiamo, o controlliamo da remoto, è reso possibile dalla presenza di una batteria sempre più piccola, più efficiente, più affidabile.

È una rivoluzione fatta di miliardi di oggetti, ognuno alimentato da una minuscola scintilla. La batteria non è più solo un componente: è ciò che consente la nostra connessione permanente al mondo digitale.

All'inizio degli anni 2000, i telefoni cellulari cominciavano a trasformarsi in dispositivi multifunzione. Con l'arrivo del primo iPhone nel 2007, il concetto stesso di telefono cambiò radicalmente: non più solo chiamate e messaggi, ma musica, fotografia, navigazione web, geolocalizzazione, app di ogni tipo. E tutte queste funzioni avevano bisogno di una fonte di energia affidabile, compatta e capace di durare almeno una giornata intera. La batteria al litio, già presente nei primi cellulari, divenne così un elemento cruciale dell'ingegneria del prodotto. Ogni grammo in più pesava, ogni millimetro contava.

Apple, Samsung, Huawei, LG e gli altri giganti del settore si trovarono a competere non solo per prestazioni e design, ma anche per l'autonomia energetica. Lavoravano a stretto contatto con produttori di batterie per sviluppare celle sempre più sottili, dalla forma adattabile, con sistemi intelligenti di ricarica rapida, protezione da surriscaldamento, ottimizzazione della durata.

Parallelamente, i laptop e i tablet abbandonavano definitivamente le batterie al nichel (NiMH o NiCd) per passare al litio. Il vantaggio era duplice: maggiore capacità in meno spazio, e nessun "effetto memoria", che affliggeva le vecchie tecnologie rendendo necessario scaricare completamente la batteria prima di ricaricarla. I nuovi computer portatili diventavano più leggeri, più performanti e, soprattutto, più mobili. Per la prima volta, l'idea di lavorare "in movimento", senza bisogno di una presa elettrica per ore, diventava realmente praticabile.

Nel frattempo, cominciavano a diffondersi gli oggetti indossabili: smartwatch, fitness tracker, auricolari wireless. Questi dispositivi avevano esigenze ancora più complesse: dovevano durare giorni, a volte settimane, con batterie minuscole, integrate in spazi millimetrici, resistenti all'acqua, capaci di tollerare cicli di ricarica frequenti. Era il trionfo della miniaturizzazione, e con esso l'affermazione di nuove soluzioni come le microcelle ai polimeri di litio, più flessibili e adattabili a design non convenzionali.

Non bisogna però dimenticare che la miniaturizzazione comportava anche nuove fragilità. Con l'aumento della densità energetica e la riduzione delle dimensioni, le batterie diventavano più sensibili a sovraccarichi, urti, perforazioni. Gli incidenti non mancavano: basti pensare al caso clamoroso del Samsung Galaxy Note 7, ritirato dal mercato nel 2016 per problemi di surriscaldamento e rischio di incendio. Questo evento rappresentò uno spartiacque nella gestione della sicurezza delle batterie, spingendo i produttori a investire in sistemi di controllo termico, rivestimenti ignifughi, e test più rigorosi.

Ma la batteria non alimentava solo smartphone e laptop. Negli stessi anni, altre tecnologie stavano emergendo e chiedevano una nuova generazione di accumulatori: i droni, ad esempio, sempre più usati per fotografia, videoriprese, consegne, rilievi geologici, applicazioni militari o scientifiche. Per

volare in modo stabile e duraturo, un drone ha bisogno di batterie leggere ma potenti. La sfida era trovare un equilibrio perfetto tra peso e potenza, tra autonomia e sicurezza. Le celle Li-Po (litio-polimero) si dimostrarono ideali per questo compito, grazie alla loro forma piatta e al peso contenuto.

Anche il settore della fotografia digitale venne profondamente trasformato. Le vecchie fotocamere a pellicola erano ormai un ricordo, sostituite da fotocamere digitali con autofocus, schermi LCD, zoom motorizzati, flash integrati: tutte funzioni che dipendevano da una batteria ricaricabile. La durata della batteria diventava un criterio di acquisto, e i fotografi professionisti portavano con sé interi set di batterie di riserva per garantire copertura durante eventi o viaggi.

Meno visibili, ma forse ancora più importanti, erano le applicazioni mediche. Pacemaker, defibrillatori impiantabili, pompe per insulina, dispositivi per il monitoraggio cardiaco continuo: tutti questi strumenti salvavita funzionavano grazie a batterie miniaturizzate, affidabili e a lunga durata. In questo caso, la sicurezza era assoluta priorità. I produttori svilupparono batterie sigillate in grado di durare anche 10 anni senza manutenzione, capaci di resistere all'ambiente corporeo senza degradarsi o rilasciare sostanze nocive.

Un'altra frontiera era quella della domotica e dell'Internet delle Cose (IoT). Sensori per la temperatura, per le fughe di gas, per l'apertura di porte e finestre, telecamere intelligenti, luci a controllo vocale: la casa moderna si riempiva di dispositivi smart, ognuno dei quali aveva bisogno di una batteria per funzionare in assenza di corrente o in luoghi difficilmente raggiungibili. Anche in ambito agricolo o industriale, sensori remoti per l'umidità, la qualità dell'aria, le vibrazioni delle macchine o la posizione dei carichi richiedevano batterie di lunga durata e basso consumo, capaci di operare per anni senza intervento umano.

La crescita esponenziale del numero di dispositivi portò a un altro grande tema: il riciclo e lo smaltimento delle batterie di piccole dimensioni. Se era relativamente facile gestire batterie di grandi dimensioni come quelle per le auto elettriche o i sistemi di accumulo, più difficile era trattare miliardi di celle miniaturizzate sparse in dispositivi di consumo spesso gettati via o dimenticati. Molte batterie finivano ancora in discarica, contribuendo all'inquinamento e alla perdita di materiali preziosi. Nascevano così iniziative per sensibilizzare al riciclo, progetti di raccolta nei negozi di elettronica, regolamenti europei e americani per obbligare i produttori a rendere le batterie facilmente estraibili e riciclabili.

Nel frattempo, la tecnologia continuava a progredire. Gli ingegneri lavoravano su batterie flessibili, da integrare in tessuti intelligenti o patch medicali da applicare sulla pelle. Si testavano batterie a microstruttura, grandi quanto un granello di sabbia, da usare per dispositivi impiantabili, microdroni, o sensori ambientali invisibili. Si esploravano batterie autoricaricanti, in grado di sfruttare il calore corporeo, il movimento, o la luce solare per estendere la loro durata operativa. Ogni innovazione cercava di integrare la batteria nel corpo stesso del dispositivo, rendendola invisibile, discreta, onnipresente.

Nel giro di due decenni, la batteria aveva compiuto un viaggio straordinario. Era passata dall'essere una scatola esterna, da rimuovere e sostituire, a diventare parte integrante della nostra esperienza quotidiana. Non la vediamo quasi mai, ma è ovunque: nella tasca, sul polso, nell'orecchio, nel cuore, nel drone che ci filma dall'alto, nella penna che digitalizza la scrittura, nel localizzatore del nostro cane. È la spina dorsale invisibile della nostra connessione costante, della nostra mobilità personale, della nostra salute monitorata, del nostro tempo sempre connesso.

Eppure, per quanto centrale, la batteria personale rimane una tecnologia in divenire, carica di potenziale e limiti da superare. Gli utenti chiedono dispositivi sempre più piccoli e autonomi, i produttori cercano materiali più economici e sostenibili, gli scienziati inseguono sogni come la batteria biologica, la ricarica wireless a lunga distanza, l'autonomia illimitata grazie a

microgeneratori interni. È una corsa silenziosa, ma inarrestabile.

Nel XXI secolo, l'energia non è solo una questione di centrali elettriche, ma di dispositivi che ci accompagnano ovunque. In questo mondo, la batteria è l'elemento che permette la nostra libertà di movimento, di comunicazione, di esplorazione. Ed è proprio per questo che, oggi più che mai, essa si trova al centro della nostra esistenza tecnologica quotidiana.

Capitolo 10 – Il futuro della batteria: tra sogni tecnologici e sfide globali

Dopo oltre due secoli di evoluzione, la batteria è passata dall'essere un esperimento da laboratorio, la famosa colonna di Volta, a un pilastro silenzioso della civiltà moderna. Ha alimentato telai, telegrafi, radio, giocattoli, automobili, satelliti, telefoni cellulari, pacemaker e milioni di altri dispositivi. Oggi, nel terzo decennio del XXI secolo, non possiamo più immaginare un mondo senza batterie. Ma, al tempo stesso, siamo costretti a immaginarne uno con batterie diverse, migliori, più sostenibili, più potenti, più intelligenti. La storia della batteria, insomma, non è finita. Anzi: è forse appena cominciata.

Il contesto globale in cui si muove questa nuova fase è complesso. L'urgenza della transizione ecologica impone la decarbonizzazione dei trasporti e dell'energia. Gli stati si pongono obiettivi ambiziosi per l'azzeramento delle emissioni nette, e questo comporta un'esplosione della domanda di batterie: nei veicoli elettrici, nei sistemi di accumulo per impianti solari ed eolici, nelle reti elettriche intelligenti, nelle infrastrutture off-grid. La produzione mondiale di batterie agli ioni di litio è cresciuta in modo vertiginoso negli ultimi anni, e si prevede che triplicherà entro il 2030.

Ma questa espansione porta con sé nuove sfide. Innanzitutto, quelle legate alle materie prime. Litio, cobalto, nichel, manganese: tutti elementi essenziali per la produzione di batterie ad alte prestazioni, e tutti soggetti a problematiche geopolitiche, ambientali ed etiche. Il litio, per esempio, è concentrato in pochi paesi (Cile, Argentina, Australia, Cina), e la sua estrazione richiede grandi quantità d'acqua, con impatti sugli ecosistemi locali. Il cobalto, invece, proviene in larga parte dalla Repubblica Democratica del Congo, dove il settore è segnato da condizioni di lavoro precarie e sfruttamento minorile.

Di fronte a questo scenario, la ricerca scientifica e tecnologica è in fermento. L'obiettivo è duplice: da un lato, ottimizzare le batterie esistenti rendendole più performanti e meno dipendenti da materiali critici; dall'altro, sviluppare nuove generazioni di batterie basate su chimiche alternative, magari più sostenibili, più sicure, più durature.

Una delle innovazioni più attese è quella delle batterie allo stato solido. A differenza delle attuali batterie al litio, che utilizzano un elettrolita liquido (infiammabile e soggetto a degrado), le batterie allo stato solido impiegano un elettrolita solido che garantisce maggiore stabilità termica, riduce il rischio di esplosione e consente una densità energetica superiore. Toyota, Samsung, QuantumScape e altri colossi stanno investendo miliardi per perfezionare questa tecnologia. I prototipi funzionano, ma resta da risolvere il nodo della produzione su larga scala e dei costi.

In parallelo, si stanno esplorando alternative al litio, come le batterie al sodio, più economiche e con risorse abbondanti, o al magnesio, con potenziale capacità energetica maggiore. Le batterie a flusso, già usate in ambito stazionario, promettono una scalabilità notevole, pur avendo limiti in termini di portabilità. Le batterie a zolfo, leggere ed economiche, soffrono ancora di bassa stabilità ciclica. Altre soluzioni sperimentali vanno dalle batterie al grafene a quelle biochimiche, basate su materiali organici o addirittura enzimi.

Nel campo del design, si lavora per creare batterie flessibili, trasparenti, stampabili, da integrare nei tessuti, nei vetri, nelle superfici curve. L'idea di avere batterie "invisibili", nascoste nei materiali stessi degli oggetti, si sta già concretizzando in settori come la moda tecnologica, la medicina personalizzata e l'elettronica indossabile.

Anche la ricarica è oggetto di innovazione. Accanto alle classiche prese e powerbank, stanno prendendo piede tecnologie come la ricarica wireless, la ricarica solare integrata e perfino la ricarica ambientale: dispositivi capaci di catturare energia dalle onde radio, dal calore corporeo, dai

movimenti. Le prime sperimentazioni di ricarica a distanza tramite onde millimetriche sono già realtà nei laboratori di alcune startup statunitensi e asiatiche. E l'idea di una batteria "eterna", che si autoalimenti continuamente, non sembra più una semplice utopia.

Parallelamente, la questione della sostenibilità del ciclo di vita delle batterie è sempre più centrale. Non basta più progettare batterie potenti: bisogna anche assicurarsi che siano riutilizzabili, riciclabili, rigenerabili. In Europa, la nuova normativa "Battery Regulation" impone requisiti precisi sulla tracciabilità dei materiali, sull'impatto ambientale, sul contenuto minimo di materiali riciclati. In Cina, il governo ha avviato un ambizioso programma di riciclo a circuito chiuso per le batterie dei veicoli elettrici. Negli Stati Uniti, aziende come Redwood Materials e Li-Cycle stanno sviluppando impianti di riciclo avanzato capaci di recuperare oltre il 90% dei metalli preziosi da batterie esauste.

Un altro fronte cruciale è quello dell'intelligenza artificiale applicata alla gestione delle batterie. I moderni sistemi di Battery Management System (BMS) usano algoritmi sofisticati per monitorare costantemente la temperatura, il voltaggio, il livello di carica, la resistenza interna, e prevedere con precisione l'usura. Alcuni dispositivi mobili, come gli iPhone più recenti, adattano attivamente la velocità di ricarica e la potenza del processore per preservare la salute della batteria nel tempo. Le batterie stanno diventando intelligenti, capaci di "conoscere sé stesse" e ottimizzare il proprio funzionamento.

Ma forse l'aspetto più affascinante di questa nuova era è il rapporto culturale e simbolico che stiamo sviluppando con le batterie. Dove un tempo si usavano metafore come "carburante" o "benzina", oggi parliamo di energia personale, come se la batteria fosse una sorta di estensione della nostra vitalità. "Sono scarico" è ormai una frase tanto fisica quanto emotiva. Le app ci notificano la "salute della batteria" come se fosse la nostra. E sempre più spesso, nelle opere di fantascienza, il futuro è definito dal tipo di batteria che alimenta un androide, una colonia spaziale o una città volante.

Il simbolo universale della batteria, quel piccolo rettangolo con i tacchetti verdi, è diventato icona della contemporaneità. È la misura del nostro tempo attivo, della nostra autonomia, della nostra connessione. Se è pieno, siamo operativi. Se lampeggia in rosso, entriamo in ansia.

Ma come sarà la batteria del futuro? È probabile che sarà più invisibile, più integrata, più efficiente e più ecologica. Forse non sarà nemmeno più una "batteria" nel senso tradizionale del termine. Forse sarà una combinazione di materiali intelligenti, nanogeneratori, sistemi di accumulo distribuiti. Forse non dovremo più "ricaricarla", perché sarà costantemente alimentata da una rete di microfonti energetiche ambientali. O forse, in un futuro ancora più remoto, riusciremo a immagazzinare l'energia direttamente nei tessuti biologici, integrando l'elettronica nel nostro corpo.

Una cosa è certa: la storia della batteria continuerà a essere la storia del nostro rapporto con l'energia, intesa non solo come forza fisica, ma come potere di agire, comunicare, vivere. La batteria ci accompagna silenziosamente ovunque: nel taschino, nell'orecchio, nel cuore, nello zaino, sotto il pavimento, sopra i tetti. È l'elemento invisibile che rende possibile il nostro mondo mobile, connesso, intelligente. È la risposta concreta a un bisogno antico e sempre attuale: avere energia, quando e dove serve.

Così, dalla colonna di Volta al chip autoricaricante, dalla pila di Leclanché allo zaino solare, dalla batteria Tesla ai dispositivi biomedicali impiantabili, la batteria ha compiuto un viaggio straordinario, che non ha fine. È un viaggio che riguarda tutti noi, ogni giorno. Perché ogni volta che accendiamo uno schermo, ascoltiamo una canzone, telefoniamo, scattiamo una foto, pedaliamo su una bici elettrica, avviamo un robot, o semplicemente controlliamo l'orologio, stiamo celebrando, senza saperlo, l'epopea di una delle invenzioni più rivoluzionarie della storia umana.

E proprio per questo, valeva la pena raccontarla.

La pila è ovunque, ma raramente ci soffermiamo a riflettere su quanto sia stata rivoluzionaria per la storia dell'umanità. Questo libro racconta l'incredibile viaggio di una delle invenzioni più sottovalutate e al tempo stesso più fondamentali della nostra epoca. Dalla colonna di Volta alla batteria del futuro, passando per le pile a secco, gli accumulatori, le batterie al litio e quelle impiegate in ambito spaziale, industriale e domestico, questo volume ripercorre oltre due secoli di evoluzione tecnologica, scientifica e culturale.

In dieci capitoli ricchi di aneddoti, scoperte, successi e fallimenti, il lettore viene accompagnato in un racconto che intreccia la storia della scienza con quella dell'industria, della mobilità, della comunicazione e dell'immaginario collettivo. La pila, silenziosa e discreta, ha alimentato non solo dispositivi, ma intere epoche.

Frutto di una collaborazione originale tra un essere umano e un'intelligenza artificiale, questo libro dimostra come il dialogo tra creatività umana e capacità computazionale possa dare vita a un testo informativo, stimolante e accessibile. Non serve essere ingegneri o chimici per apprezzarlo: basta la curiosità di scoprire come funziona il mondo, e cosa lo fa funzionare.

Perfetto per gli appassionati di tecnologia, studenti, insegnanti o semplici lettori desiderosi di conoscere meglio la realtà che li circonda, *La storia della pila* è un viaggio elettrizzante tra scienza e società, tra passato e futuro. Un omaggio a una delle invenzioni che, senza fare rumore, ha acceso il mondo.